

도심지 흙막이 굴착공사에서 안정화 소단의 효율적 적용 Effective Use of Stabilizing Berm for Excavation in Urban Area

고용일¹⁾, Yong-Il Koh, 권영호²⁾, Young-Ho Kwon, 박신영³⁾, Shin-Young Park

- ¹⁾ 한라건설 기술연구소 차장, Deputy General Manager, R & D Center, Halla Engrg. & Constr. Corp.
²⁾ 한라건설 기술연구소 대리, Assistant Manager, R & D Center, Halla Engrg. & Constr. Corp.
³⁾ 한라건설 기술연구소 연구원, Researcher, R & D Center, Halla Engrg. & Constr. Corp.

SYNOPSIS : In this paper, analysis of stabilizing berm is performed to apply berm effectively for excavation in urban areas, where cross-sections in braced relatively deep cut are used for sandy layers. Also, multi-layered ground condition representing soil near the capital area in the country, where soil strength increases adequately as excavation depth becomes deep, are considered. And numerical analyses are performed in various way, how we consider slope stability and mobilized passive resistance of berm, wall deformation with excavation level. Consequently, optimum width of berm and effect of soil strength parameters is analyzed and presented, which is confirmed by measured data.

Key words : excavation, stabilizing berm, slope stability, passive resistance, wall deformation

1. 서 론

굴착면적이 비교적 넓은 도심지 흙막이 굴착공사에서 가능한 벽체변위를 억제하기 위한 수단의 하나로써 굴착단계별로 굴착될 흙의 일부를 벽체 하단부에 남긴 채 공사를 진행하는, 즉 어떠한 기하학적 분석이나 영향 등이 고려되지 않고 단지 경험적으로 시공되는 경사진 소단(sloping berm)을 이용한 시공사례가 종종 행해져 왔다. 최근 들어 경제적이고 안정된 공사를 원하는 시대적 흐름에 따라, 비단 굴착면적이 그리 넓지 않은 현장일지라도 현장여건 또는 시공에 지장을 초래치 않는 범위 내에서 소단을 적용하려는 현장이 급속히 늘어가고 있어, 또한 흙막이 구조물의 전체적인 안정에 보다 효과적이고 합리적으로 기여할 수 있는 이른바 안정화 소단(stabilizing berm)의 적용에 대한 필요성이 증대되고 있는 추세이다.

소단에 대한 관련 연구로서, Peck(1969), Clough 등(1977)은 흙의 컨시스턴시가 매우연약 내지는 연약한 지반에서 현장계측 및 수치모형실험 등을 토대로 소단 및 레이커(raker)로 지지되는 굴착벽체의 거동 및 굴착배면 지반의 거동 등을 분석하였고, 그 후 Clough 등(1990)은 연약한 점성토지반에서 변형 및 굴착저면의 히빙(heaving)과 관련된 연구결과를 보고하였다. 또한 Potts 등(1993)은 점성토 단일지반 조건에서 소단의 기하학적 형상에 따른 분석을 통해 효과적인 체적 및 형상(높이, 폭)을 제시한 바 있다. 또한 국내의 경우 양(1996), 서울대(1996)는 수도권 지역을 대표하는 비교적 연약한 점성토지반과 단단한 사질토지반의 두 가지 경우에 대한 수치해석 등을 통하여 소단의 최적체적을 제안하였으며, 이(1996)는 지반공학회 초청강연에서 벽체와 접한 소단의 하단부로부터의 수동파괴면을 기준으로 소단 폭을 결정하는 방안을 제안한 바 있다.

이상의 연구결과들을 살펴보면 외국의 경우에는 대부분 점성토의 단일지층과 깊지 않은 굴착조건에

한정된 결과로서, 다층지반조건으로 이루어져 있고 비교적 깊은 굴착현장이 흔한 국내의 조건에는 부합되지 않는 상황이다.

따라서 본 연구에서는 도심지 굴착공사에서 소단의 효율적인 적용을 위해 버팀보로 지지되는 비교적 깊은 굴착단면을 선정하였고, 분석시 굴착깊이가 깊어질수록 지반강도가 비교적 양호해지는, 사질토 위주의 다층지반으로 구성된, 국내 수도권의 지반특성을 반영하였다. 또한 굴착 하부지반의 변형 및 파괴를 포함하여 소단내의 사면안정(slope stability) 해석, 발휘되는 수동저항(passive resistance) 추정 및 단계별 벽체변형(wall deformation) 분석 등을 고려한 복합적인 수치모형분석을 통해 지반강도정수의 영향을 분석하고, 최적소단의 크기를 제안하고자 하였으며 또한 현장사례분석을 통해 소단의 효과를 확인하였다.

2. 소단의 적용

소단의 적용방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 하나는 소단을 지보체계(support system)의 보조소단으로 활용하는 것이고, 다른 하나 소단 자체를 주지보로서 활용하는 것이다. 이 두 가지의 차이는 소단이 전체안정에 어떠한 영향을 미치는가에 따라 나뉘어진다. 즉 보조지보로 사용되는 경우의 소단의 주된 역할은 벽체변형의 감소에 있으며, 부분적으로 굴착단계별로 벽체의 휨모멘트, 전단력, 축력 등을 다소 감소시킬 수 있다. 그 반면 주지보로 사용되는 경우에는 소단의 안정여부가 바로 전체 지보체계의 안정과 직접적인 관련이 있으므로 소단의 파괴는 전체구조물의 파괴로 이어진다. 따라서 후자의 경우에는 신중하고 안전한 설계와 더불어 다각적인 분석이 요망되며 철저한 시공관리가 요망된다고 할 수 있다.

실제로 Clough 등(1977)은 연약한 지반에서 소단을 주지보로 활용한 사례(소단+레이커) 연구를 통해, 소단의 가장 중요한 역할은 벽체변형의 억제에 있으며 흙막이 구조물의 전체안정에 필요한 요소는 소단자체의 사면안정, 충분한 수동저항의 발휘 및 굴착저면 파괴방지에 달려있다고 보고하고 있다. 또한 Peck(1969)은 매우연약 내지 연약한 정도의 점성토 지반에서의 사례분석을 통해, 이와 같은 지반조건에서도 소단자체의 안정성은 충분히 확보되지만, 소단의 변형으로 벽체상단의 변위가 과도하게 발생할 수 있음을 지적하였다. 그 밖에도 Clough 등(1990)은 연약한 점성토 지반에서는 상당한 변형이 발생되므로 적절한 수동저항의 발휘를 기대하기 어려우며, 또한 굴착저면이 허빙에 대한 안전율이 낮을 때에는 소단 하부에서 지반변형이 먼저 발생하기 때문에 효과적이지 못한 반면, 강한(stiff) 점성토지반에서는 소단의 지보역할이 뚜렷하다고 보고하고 있다.

이와 같은 결과를 종합해 볼 때, 흙막이 굴착공사에서 소단을 적용할 경우에는, 소단내의 사면안정, 수동저항력(벽체변형) 및 굴착저면의 안정 등에 대한 비교·검토와 더불어 기술자의 공학적 판단이 요망된다고 할 수 있다(그림 1).

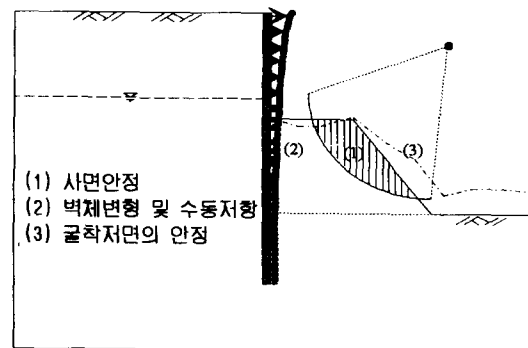


그림 1. 흙막이 굴착공사에 소단 적용시 고려되어야 할 주요 영향

3. 안정화 소단의 분석

본 연구에서 고려되는 소단은 버팀보와 병행하여 설치되는 보조지보의 소단으로서, 버팀보를 이용한 굴착공사시 버팀보 설치예정 위치에서 2.5m~3.5m 가량 더 굴착한 상태에서 버팀보를 설치하는 것이 통상적이므로,¹⁾ 소단의 높이는 2.0m~3.0m, 소단의 사면경사는 일반적으로 시공되고 있는 1:1로 선정하였으며, 소단의 상단 폭은 시공여건에 따라 다르므로 소단이 없는 경우를 포함하여 0.0m~6.0m로 변화시켜가며 분석을 수행하였다.

3.1 소단의 사면안정해석

소단이 보조지보로 활용되는 흙막이 굴착공사에 한해서는 소단자체의 사면안정 여부가 소단의 효과를 나타내는데 있어 절대적인 의미를 갖는다고 판단되지는 않으나, 소단에 요구되어지는 적정한 수동저항(passive resistance)을 발휘하기 위해서는 어느 정도 소단내의 안정성 확보가 이루어져야 한다. 따라서 본 연구에서는 우선적으로 사면안정해석을 수행하여 소단자체의 안정성을 검토하고자 한다.

사면안정해석을 위해 사용된 프로그램은 Canada GEO-SLOPE사에서 개발된 SLOPE/W Ver. 3.03으로, 본 분석에서는 Fellenius, Bishop, Janbu, Morgenstern-Price의 방법을 토대로 사면경사 1:1인 토사지반의 원호활동에 대한 안정해석을 수행하였고, 최종적으로 대체로 중간값을 나타내고 있는 Morgenstern-Price의 방법을 택하여 안전율을 결정하였으며, 절편간의 전단력에 관련된 함수 $f(x)$ 는 사다리꼴(trapezoid) 형태로 가정하였다. 가정된 해석단면은 아래의 그림 2와 같다.

표 1. 사면안정해석에 적용된 지반조건

상대밀도	S.P.T. N값	단위중량 $\gamma_t(t/m^3)$	전단저항각 $\phi(^\circ)$	점착력 $c(t/m^2)$	비고
매우느슨	2	1.70	27.6	-	ϕ soil
느슨	7	1.75	29.1	-	
중간정도	20	1.80	33.0	-	
조밀	40	1.90	39.0	-	
중간정도	10	1.80	30.0	1.25	c - ϕ soil
중간정도	24	1.80	34.0	1.46	
조밀	37	1.85	38.0	1.68	
조밀	50	1.95	42	1.89	

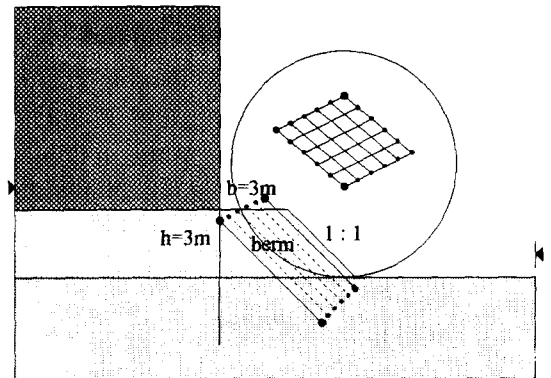


그림 2. 사면안정해석 단면

본 연구에서 적용된 사질토지반은 크게 두 가지로 대별되는데, 하나는 매립토에서 풍화토 이전까지 위치하는 통상적으로 점착력을 고려치 아니하는 순수한 사질토 지반(ϕ soil)과 다른 하나는 어느 정도의 점착력과 전단저항각을 지니고 있는 풍화토(c - ϕ soil)이다.

순수 사질토의 경우에는 상대밀도(D_r)를 기준으로 하여 매우느슨, 느슨, 중간정도, 조밀 및 매우조밀에 해당되는 전단저항각을 추정하였으나, 풍화토의 경우에는 모암의 조성상태 및 종류, 기후, 지형, 풍화정도, 함수상태 및 심지어는 외력의 크기 등에 따라 강도변화의 폭이 크므로 한정된 범위의 지반강도정수 값을 나타내기란 매우 어려운 실정이며 더욱이 이러한 대표값 추정이 또 하나의 커다란 연구가 되므로, 본 연구에서는 수도권지역을 중심으로한 풍화토의 일반적인 지반강도정수를 추정하기 위하여 몇몇 연구자들의 연구결과 및 지반조사보고서를 토대로 자료를 수집 선별·분석하여 본 연구에 적용하였다.

상기의 지반강도정수를 적용한 사면안정해석 결과(그림 3), 순수 사질토의 경우는 상대밀도가 조밀 이상일 경우에만 소정의 안전율을 확보하는 것으로 나타났으며 풍화토(c - ϕ soil)인 경우에는 모두 안정한 결과를 보여 주고 있다. 그러나 사면안정해석 결과는 통상적으로 실제의 경우보다 사질토지반에서 다소 안전측으로 계산된다는 사실과 더욱이 보조지보 수단으로 적용되는 소단의 경우에는 사면안정

해석 결과가 절대적인 값으로 볼 수 없으므로, 추가적인 분석을 통해 소단에 효과적으로 적용할 수 있는 지반강도정수를 결정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

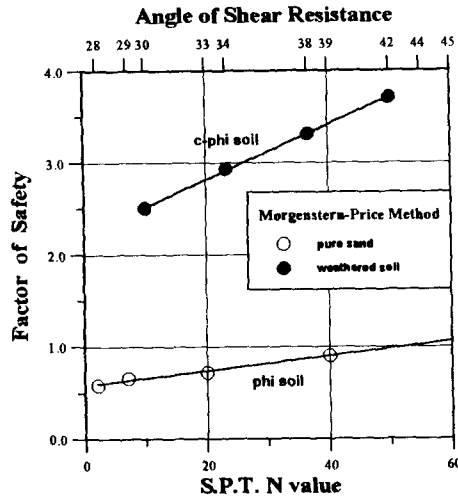


그림 3. 지반강도에 따른 소단의 사면안정해석 결과

3.2 수동저항 분석

기존의 흩막이 설계 프로그램에 익숙한 실무자들이 소단설계에서 가장 곤란을 느끼는 사항 중의 하나가 소단에서 발휘되는 수동저항을 추정하는 것이다. 최근에 많이 사용되고 있는 흩막이 전용 설계·해석 프로그램이라도 소단의 기하학적 형상에 따라 변화되는 수동저항값을 고려하기란 사실 거의 불가능하다 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 수동저항 값의 정량적인 평가를 위해, Culmann이 제시한 도해법을 흩막이 굴착공사의 소단에 적용하여 소단 높이, 폭 등의 형상과 지반강도를 변화시켜가며 분석을 수행하였다. 본 방법은 도해법의 특성상 기하학적 조건에 따른 수동저항 값의 변화를 민감하게 잘 나타내는 것으로 판단되나 점성토지반에서는 적용하기 어려운 단점을 지니고 있다.

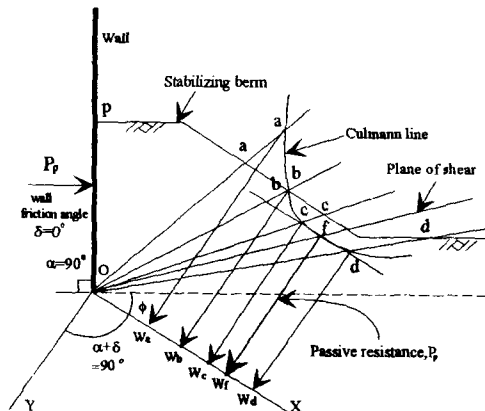


그림 4. Culmann의 도해법을 이용한 수동저항 추정

표 2. 수동저항 분석에 적용된 지반조건

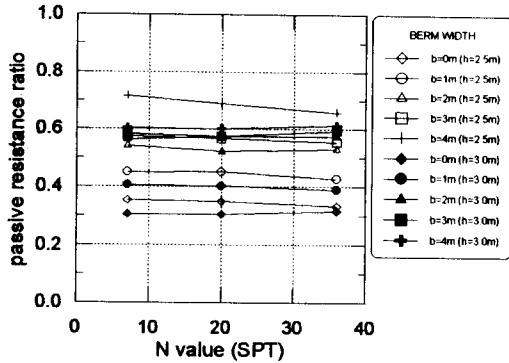
상대밀도	S.P.T. N값	단위중량 $\gamma_s(t/m^3)$	전단저항각 $\phi(^\circ)$	점착력 $c(t/m^2)$
느슨	7	1.75	29.1	-
중간정도	20	1.80	33.0	-
조밀	36	1.85	37.8	-

본 분석에서 적용한 소단의 제원은 경사 1:1, 높이는 Potts 등(1993), 서울대(1996)의 연구결과를 참고하여 2.5m, 3.0m, 폭은 무한대인 경우를 포함하여 0.0m~4.0m까지 1m씩 증가시켜 가면서 분석을 수행하였고, 적용된 지반조건은 표 2와 같으며 그림 4는 Culmann의 도해법을 이용한 소단의 수동저항 추정방법을 나타내고 있다.

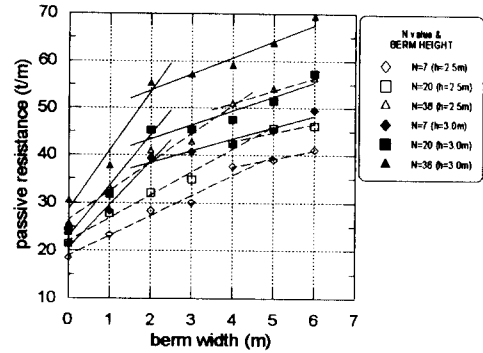
그림 5-(a)는 소단 폭에 따른 수동저항비(passive resistance ratio, r_{pr})의 관계로서, 여기서 수동저항비는, 소단 폭이 무한대일 때의 수동저항값에 대한 임의의 소단 폭일 때의 수동저항값에 대한 비로서,

높이 3m, 폭 4m일 때 약 60%가량을 나타내고 있으며, 삼각형 소단(b=0m)의 경우에는 30%정도로 나타나 수동저항력이 급격히 감소되는 것을 알 수 있다. 그림 5-(b)는 소단의 폭에 따른 수동저항의 변화를 기울기가 다른 두 직선으로 나타낸 것으로서, 두직선의 교점이 가장 효율적인 소단 폭으로 볼 수 있다.

다음의 표 3은 수동저항력에 대한 효과적인 소단의 제원을 나타낸다.



(a) 수동저항비-N값-폭(높이)의 관계도표



(b) 수동저항-폭-N값(높이)의 관계도표

그림 5. 도해법을 이용한 수동저항의 해석결과

표 3. 수동저항력 분석에 따른 효과적인 소단의 제원

높이(h)	폭(b)	경사	체적(V)
3.0m	1.88~2.04m	1:1	10.14m ³ /m~ 10.62m ³ /m
2.5m	4.12m~4.70m	1:1	13.425m ³ /m~ 14.875m ³ /m

3.3 굴착벽체의 거동 분석

본 분석에서는 유한차분해석(FDM) 프로그램인 FLAC Ver. 3.3을 이용하여 소단과 버팀보를 이용한 굴착공사를 모사하였으며, 각각 사질토 및 점성토지반으로 나누어 이에 따른 굴착단계별 벽체거동을 분석하였다. 굴착벽체는 풍화암 상단(G.L.-20.0m)까지 S.C.W.($\phi=550\text{mm}$)를 엄지말뚝(H형강, $300 \times 300 \times 9 \times 14$, 중심간격=0.9m 설치심도=G.L.-25.0m)과 함께 설치하였으며, 버팀보(H형강, $300 \times 300 \times 9 \times 14$)의 수평 및 수직간격은 3.0m로 총 7단의 버팀보가 설치되었다. 최종굴착심도는 G.L.-20.0m, 소단의 높이 및 경사는 3m, 1:1로 가정하였으며, 폭은 소단이 없는 경우를 포함하여 0m~6m까지 1m씩 증가시켜가면서 해석하였다. 본 해석에 적용된 지반조건 및 굴착상황은 다음의 표 4, 5와 같다.

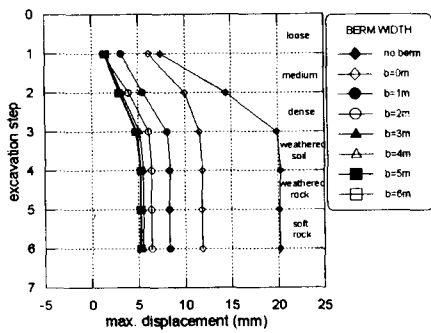
표 4. 굴착벽체의 거동분석에 적용된 지반조건

종류	단위중량 γ (t/m ³)	전단저항각 ϕ (°)	점착력 c(t/m ²)	S.P.T. N값	깊이	상대밀도/ 컨시스턴스
표토층	1.75	29.1	-	7	~-5m	느슨
사질토층(I)	1.80	33.0	-	20	~-8m	중간
사질토층(II)	1.85	37.8	-	36	~-11m	조밀
풍화토	1.90	38.0	1.68	40	~-14m	조밀
풍화암	2.00	40.0	3.00	-	~-17m	매우조밀
연암	2.20	42.0	5.00	-	-17m~	매우조밀

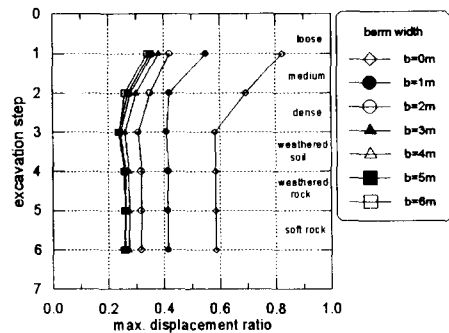
표 5. 단계별 굴착상황

	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계	6단계	7단계
시공 상황	-5m 굴착 (소단설치) 1단 strut; -1m 지점	-8m 굴착 (소단설치) 2단 strut; -4m 지점	-11m 굴착 (소단설치) 3단 strut; -7m 지점	-14m 굴착 (소단설치) 4단 strut; -10m 지점	-17m 굴착 (소단설치) 5단 strut; -13m 지점	-20m 굴착 (소단설치) 6단 strut; -16m 지점	소단굴착 7단 strut; -19m 지점
소단 지반	느슨	중간	조밀	조밀	매우조밀	매우조밀	매우조밀

그림 6은 굴착단계에 따른 벽체의 최대수평변위로, 굴착단계가 늘어날수록 최대벽체변위가 증가하다가 상대밀도가 조밀에서부터 거의 일정하게 나타났으며, 그 효과는 소단이 미설치된 상태의 최대변위 값에 약 23%~60%로 나타나고 있다.



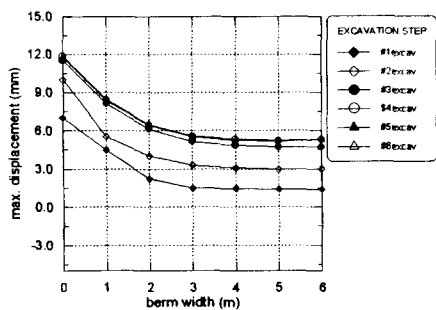
(a) 굴착단계-최대벽체변위 관계 도표



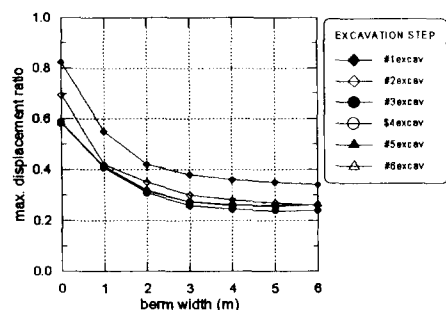
(b) 굴착단계-최대벽체변위비 관계 도표

그림 6. 굴착단계에 따른 최대벽체변위

그림 7은 소단 폭에 따른 벽체의 최대수평변위를 나타내고 있다. 그림 7-(a)를 보면 소단 폭이 증가할수록 최대변위도 감소하다가 대체적으로 소단 폭이 약 2m에서부터 현저한 변위의 감소가 발생하다가 약 3m를 초과하면서 최대변위가 수렴되는 경향을 보이고 있다. (b)는 각 단계별 최대변위와 소단이 없을 때 발생하는 최대변위에 대한 비와 소단 폭에 대한 관계도표로서, 역시 그림 (a)와 마찬가지로 소단 폭이 약 2m에서부터 최대변위비의 감소가 발생하다가 약 3m를 초과하면서 수렴되는 경향을 보이고, 폭이 0.0m~2.0m까지에서 약 80%~30%로 매우 변화가 큰 것을 알 수 있다.



(a) 최대벽체변위-소단 폭 관계 도표



(b) 최대벽체변위비-소단 폭 관계 도표

그림 7. 소단 폭에 따른 최대벽체변위

유한차분해석 결과, 소단의 유무, 소단폭에 따라 최대변위의 차이가 상당히 크다는 것을 알 수 있었으며 조밀한 지반의 소단이 벽체변위를 가장 효율적으로 억제하는 것으로 나타났다. 또한 소단의 높이 3m, 경사 1:1일 때, 벽체변위를 억제하기 위한 가장 효율적인 소단 폭은 약 2m~3m, 체적은 10.5m³/m ~13.5m³/m로 산정되었다.

4 현장계측결과와의 비교

본 분석에서는 실제로 굴착단계별 소단을 활용한 서울 00동 Apt. 신축현장 굴착공사의 현장계측결과를 토대로 소단의 효과를 확인하였다. 본 현장의 지층구성은 상부로부터 매립층, 점토층, 모래층, 풍화토층, 풍화암층으로 이루어져 있으며, 지하수위는 G.L.-4.4m에 분포하고 있다.

본 현장의 최종굴착심도는 G.L.-9.6m로, 벽체는 엄지말뚝(H형강, 300×200×9×14, 간격=0.9m)과 S.C.W.($\phi = 550$ mm) 및 벽체배면에 차수용 S.G.R.($\phi = 1000$ mm)이 시공된 상태였다. 본 현장과 인접하여 북측 및 동측 굴착면은 폭 8m, 서측은 폭 15m도로로 구성되어 있었으나, 남측 굴착면에는 굴착벽체와 약 1m 가량 떨어져 철공소가 위치하고 있었는데, 철공소에는 상시적으로 철판이 1.0~2.0m의 높이로 적재되어 있어 굴착벽체에 매우 큰 상재하중이 작용하고 있는 상태였다.

표 6. 서울 00동 Apt. 굴착공사 현장 지반조건

지층종류	단위중량 $\gamma_i(t/m^3)$	전단저항각 $\phi(^\circ)$	점착력 $c(t/m^2)$	S.P.T. N 값	깊이 (m)	탄성계수 $E(t/m^2)$	ν	상대밀도/ 컨시스턴시
매립층	1.70	28.5	-	5	~-3m	500	0.42	느슨
점토층	1.75	25.0	5.0	18	~-7m	1200	0.38	매우강함
모래층	1.80	34.5	-	25	~-10m	1500	0.36	중간
풍화토층	1.90	38.0	1.5	37	~-17m	5000	0.35	조밀
풍화암층	2.00	44.0	3.0	~	~-20m	20000	0.30	매우조밀

본 단면의 굴착벽체 지지를 위해 버팀보(2H-300×300×10×15)가 수평간격 1.8m, 수직간격 1.8m~2.4m로 계획된 상태였고, 굴착벽체에 매우 큰 상재하중(10ton 고려)이 작용하고 있었으므로 벽체변형을 가능한 억제하기 위해 소단을 이용한 굴착시공을 계획하였다. 평균적으로 소단의 단계별 높이 및 경사는 각각 3.0m 경사는 1:1로서, 단계별 굴착시 소단을 형성한 후 버팀보를 설치하고, 다시 다음단계의 굴착을 진행하는 방식에 의해서 공사를 진행하였다. 아래의 그림은 현장계측값과 해석값에 대한 비교이다.

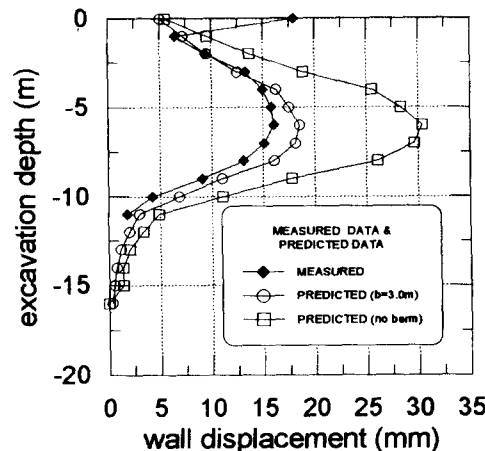


그림 8. 현장계측값과 계산값의 비교

최종단계에서의 현장계측결과 및 계산결과간 벽체수평변위는 유사한 형태를 보이고 있으나, 최상단부에서 계측값이 계산값에 비해 매우 큰 차이를 나타내고 있는데, 이는 1단 버팀보의 설치가 다소 지연됨으로 인해 상재하중이 큰 단면 특성상 벽체의 초기변형이 매우 크게 발생되었던 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 도심지 굴착공사에서 소단의 효율적인 적용을 위해 버팀보로 지지되는 깊은 굴착단면에 대한 소단내의 사면안정, 발휘되는 수동저항 및 단계별 벽체거동 등을 고려한 복합적인 수치모형 분석을 통해 지반강도정수의 영향 및 최적소단의 크기를 분석·제안하였으며, 현장사례와의 비교를 통해 소단의 효과를 확인하였다. 본 연구를 통해 얻은 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 소단의 가장 큰 목적은 벽체변형의 억제에 있으며, 더불어 굴착단계별로 벽체에 작용하는 모멘트 및 전단력, 버팀보에 발휘되는 축력의 감소효과를 기대할 수 있을 것으로 사려된다.
- 2) 굴착공사에서 소단을 보조지보로 활용할 경우에는 소단내의 사면안정 검토, 소단에 발휘되는 수동저항 및 벽체변형 분석, 하부지반의 안정 등을 비교·검토하여 소단의 제원을 결정하여야 한다.
- 3) 사질토지반을 포함한 풍화토 지반조건에서 소단적용시에는 벽체변형의 억제 및 수동저항의 발휘 효과를 감안할 때, S.P.T. N값이 30이상의 조밀한 지반에서 그 효과가 뛰어날 것으로 판단된다.
- 4) 실제의 시공측면까지를 고려한, 사질토지반을 포함한 풍화토지반에서의 안정화 소단제원은 경사를 1:1로 가정했을 경우, 높이 3m에 폭 2m 이상을 확보하는 것이 가장 효과적인 것으로 판단된다.
- 5) 소단을 효과적으로 활용하기 위해서는 굴착벽체의 차수 혹은 지하수위 지하공법이 병행되는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 서울대(1996), 버팀굴착시 지반조건에 따른 소단의 최적크기 결정, 서울대 보고서.
2. 양구승(1996), 도심지 깊은 굴착시 인접지반 거동에 대한 분석, 서울대학교 대학원 박사학위논문, pp.147~152.
3. 이종규(1996), "근접 깊은 굴착에 따른 거동과 그 문제점", '96 가을 학술발표회 논문집, 지반공학회, pp.25~36.
4. Clough, G. W., Denby G. M. (1977), "Stabilizing berm design for temporary walls in clay", *Jour. of the Geotech. Engrg. Div.*, ASCE, Vol. 103, pp.75~90.
5. Clough, G. W. and O'Rourke, T. D.(1990), "Construction induced movements of insitu walls", *Design and Performance of Earth Retaining Structures*, Geotech. special publication No. 25, ASCE, pp.439~470.
6. Peck, R. B.(1969), "Deep excavation and tunnelling in soft ground", *Proc. of 7th Inter. Conf. on Soil Mech. and Found. Engrg.*, Mexico, Vol. 4, pp.262~264.
7. Potts, D. M., Addenbrooke, T. I. and Day, R. A.(1993), " The use of soil berms for temporary support of retaining walls", *Proc. of the Conf. Retaining Structures*, Cambridge, London, pp.440~447.